

Д. Л. Рапинчук, ассистент, А. В. Ширко, канд. физ.-мат. наук, БГТУ

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОЧНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

On the basis of analysis of existing normative statements and the standardized procedures, theoretical account of strength parameters of units of building constructions from a glued wood is executed. Required cross-sections of units are installed. At accounts are used resource-saving constructions glued wall beams which one application contributes in reduction of specific consumption of materials of construction and an intelligent use of wood resources.

**Введение.** Деревянные конструкции использовались в строительстве с очень давних времен, так как древесина как конструкционный материал имеет ряд неоспоримых преимуществ. Прежде всего, это доступность сырья и простота ее обработки, высокая прочность в сравнении с объемным весом (возможность создавать прочные и одновременно легкие конструкции), низкий коэффициент теплопроводности, позволяющий использовать древесину не только для восприятия нагрузок, но и как теплоизоляционный материал. Древесина обладает хорошими звукоизоляционными свойствами. Она имеет низкий коэффициент температурного расширения. Древесина лучше противостоит огню, чем конструкции из металла. Существует такие средства защиты древесины, которые задерживают ее возгорание до 30 мин. Процесс горения деревянных конструкций протекает со скоростью 0,6 мин/мин, так что они могут не разрушаться при постоянном воздействии огня более часа. Тогда как металлические балки при температуре 300°C обрушиваются уже через 16 мин, а бетон при достижении критических температур рассыпается мгновенно [1]. Древесина обладает высокой химической стойкостью. Это означает, что во многих агрессивных средах древесина более долговечна, чем железобетонные или металлические конструкции.

Однако натуральной древесине свойственны и определенные недостатки. В первую очередь, это зависимость механических характеристик от различных факторов (породы, плотности, влажности, наличия пороков, направления волокон и т. д.). Древесина – гигроскопичный материал, вследствие этого необходимо учитывать ее усушку, разбухание, коробление при изменении влажности.

Древесина имеет выраженное анизотропное строение. По этой причине ее физические и механические свойства неодинаковы в различных направлениях. Наличие пороков древесины снижает ее эстетические и механические показатели. Без выполнения специальных мероприятий по защите древесина склонна к загниванию.

Основной задачей при проектировании деревянных конструкций в современных услови-

ях является уменьшение влияния недостатков натуральной древесины и максимальное использование ее преимуществ.

Клееная массивная древесина (клееные брусья) находит все более широкое применение в строительстве деревянных домов и в производстве столярных изделий. Такие материалы применяют при сооружении несущих конструкций (балок, ферм, колонн) и при выработке столярно-строительных изделий (окон, дверей, половой доски, щитового паркета).

Клееный брус из древесины обладает функциональными преимуществами, которые способствуют расширению его использования в жилищном строительстве. Значительно более высокая формоустойчивость и прочность клееной высушенной древесины по сравнению с цельной позволяет существенно повысить качество строительных и столярных изделий.

**Основная часть.** В последние несколько лет в нашей республике начался интенсивный рост потребления клееного строительного бруса (в связи с развитием деревянного домостроения). Вследствие этого на рынке нашей страны появилось большое количество разнообразных видов клееных брусьев, выпускаемых отечественными и зарубежными производителями. Некоторые предприятия изготавливают свою продукцию в очень небольших объемах и на оборудовании, специально не предназначенном для этого. На некоторых предприятиях нет устоявшейся технологии производства и конкретной специализации выпускаемой продукции (все производство работает «под заказ»). Поэтому в сложившихся условиях весьма важным является корректировка ассортимента выпускаемой продукции в соответствии с требованиями отечественных и зарубежных стандартов. Это позволит повысить качество выпускаемой продукции, увеличить ее конкурентоспособность, а также с учетом потенциала данной отрасли расширить рынки сбыта клееных деревянных конструкций.

Основным нормативным документом, регламентирующим клееные деревянные брусья, является СТБ 1722-2007 [2]. Данный стандарт распространяется на деревянные клееные изделия и элементы, предназначенные для устройства строительных конструкций зданий

различного назначения. Проектирование деревянных конструкций зданий и сооружений с использованием клееных элементов регламентируют СНБ 5.05.01-2000 [3]. Данные строительные нормы устанавливают обязательные требования к клееным деревянным конструкциям, порядок расчетов и контроль качества.

Для выполнения теоретических расчетов прочностных показателей клееных брусев был принят готовый проект двухэтажного жилого дома, выпускаемого ОАО «Борисовский ДОК» с использованием брусев, изготовленных путем склеивания по пласти обрезных пиломатериалов. Общий вид дома представлен на рис. 1.

Расчет деревянных конструкций производим по методу предельных состояний, положения которого можно сформулировать следующим образом: внутренние напряжения, а также деформации и перемещения от значительных нагрузок и воздействий не должны превышать предельных значений прочностных показателей строительных материалов, установленных нормами проектирования. При выполнении расчетов рассматривали условия, в которых конструкция выполняет свои функции в наиболее неблагоприятных ситуациях.

Расчеты производили в соответствии с рекомендациями СНиП 2.01.07-85 [4]. Были определены результаты воздействия:

- постоянной нагрузки, создаваемой конструкциями дома;
- временной нагрузки, возникающей в результате нахождения в доме людей;
- снеговой и ветровой временных нагрузок.

Рассматривалось несколько элементов конструкции и производился расчет их на прочность. В частности, наиболее нагруженными элементами конструкции, изготовленными из клееного бруса, являются (рис. 2):

а) продольная балка, поддерживающая крышу и закрепленная на двух фронтонах. Данная балка подвержена воздействию равномерно распределенной нагрузки, которая вызывает напряжения изгиба. Расчет данной балки сводится к определению напряжений, возникающих в результате действия изгибающей нагрузки, и величины прогиба под ее воздействием.

б) поперечная балка перекрытия между первым и вторым этажами. Данная балка также подвержена воздействию равномерно-распределенной нагрузки, которая вызывает напряжения изгиба.

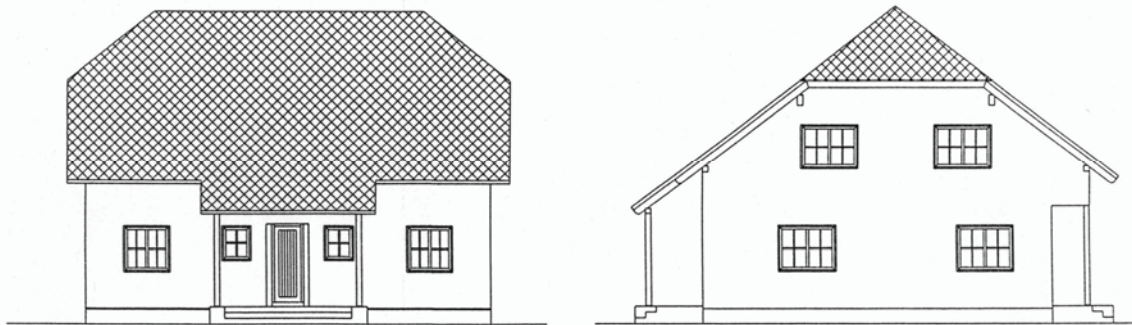


Рис. 1. Общий вид двухэтажного жилого дома высотой  $H = 2,7 + 1,3$  (первый этаж + надстройка)

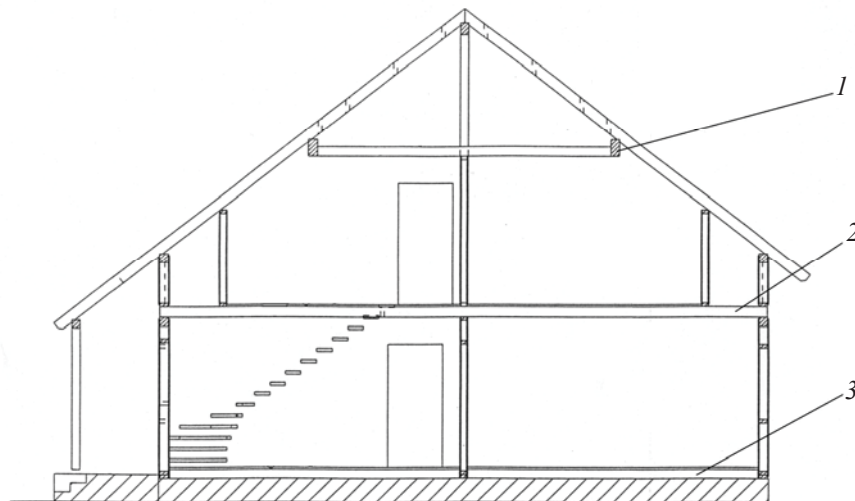


Рис. 2. Поперечный разрез конструкции дома:  
1 – продольная балка; 2 – поперечная балка перекрытия;  
3 – нижний пояс стен дома

в) нижний пояс наружных стен дома. Данный элемент конструкции испытывает напряжения сжатия под действием веса здания.

При расчете продольной балки, исходя из веса участка крыши, поддерживаемого балкой, с учетом снеговой и ветровой нагрузок, собственного веса балки, веса ригелей, закрепленных на ней, коэффициента запаса по нагрузке, коэффициентов сочетаний нагрузок, принятых по СНиП 2.01.07-85, установили величину равномерно распределенной нагрузки ( $q = 2,67$  кН/м) и составили расчетную схему, представленную на рис. 3.

Анализ напряжений и деформаций, возникающих под действием нагрузки, позволил составить следующие условия:

- условие прочности по нормальным напряжениям:

$$\sigma_{\max} = \frac{3}{4} \frac{ql^2}{bh^2} \leq [\sigma];$$

- условие прочности по касательным напряжениям:

$$\tau_{\max} = \frac{3}{4} \frac{ql}{bh} \leq [\tau];$$

- условие жесткости:

$$y_{\max} = \frac{ql^4}{2Ebh^3} \leq [y].$$

При выполнении расчетов максимальных напряжений и деформаций оказалось, что подбор сечения необходимо выполнять из условия жесткости.

В соответствии со СНиП 2.01.07-85 величина допустимого прогиба составляет  $l/200$ . При стандартной ширине балки 200 мм требуемая высота для прямоугольного сечения составляет 515 мм.

С целью максимального использования древесных сырьевых ресурсов и с учетом возрастающего интереса к малоэтажному домостроению в условиях действия Государственной программы возрождения и развития села были разработаны ресурсосберегающие конструкции клееных брусьев для деревянного домостроения с использованием круглых лесоматериалов мелких и средних диаметров [5]. Данные конструкции представлены на рис. 4.

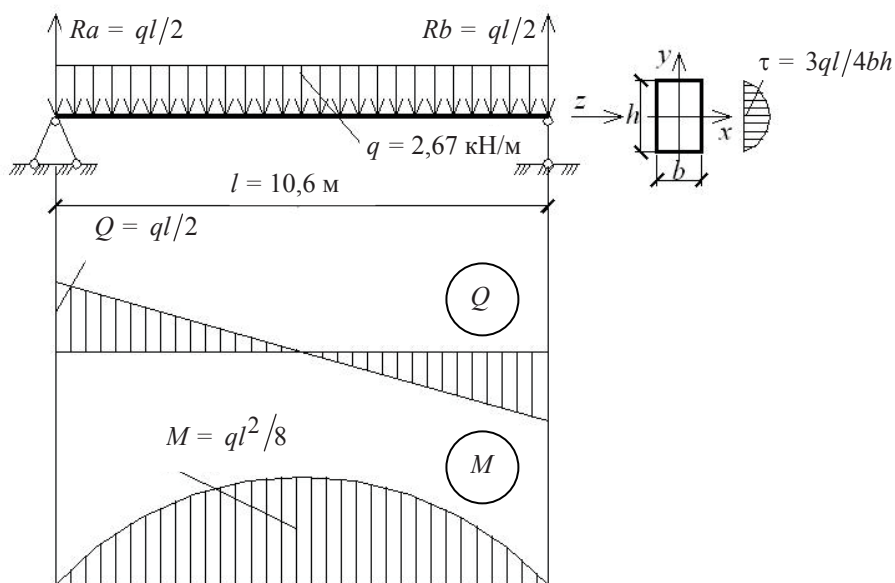


Рис. 3. Расчетная схема продольной балки с эпюрами сил и изгибающих моментов



Рис. 4. Ресурсосберегающие конструкции клееных брусьев: а – на основе мелких диаметров; б – на основе средних диаметров

Были выполнены расчеты по определению момента инерции поперечных сечений разработанных конструкций брусев. Оказалось, что наличие пустот в поперечном сечении незначительно снижает осевой момент инерции поперечного сечения балки (до 5% в зависимости от диаметров используемых бревен и размеров сечения). На основании этого в соответствии с расчетной схемой можно принять на основе ресурсосберегающих конструкций брусев конструкцию балки, представленную на рис. 5, а.

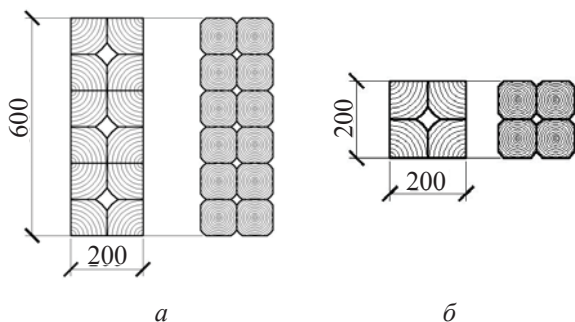


Рис. 5. Приемлемые конструкции поперечного сечения рассчитываемых элементов:  
а – продольная балка;  
б – поперечная балка перекрытия

Аналогичным образом проведены расчеты и поперечной балки перекрытия между первым и вторым этажами дома. Расчетная схема балки представлена на рис. 6.

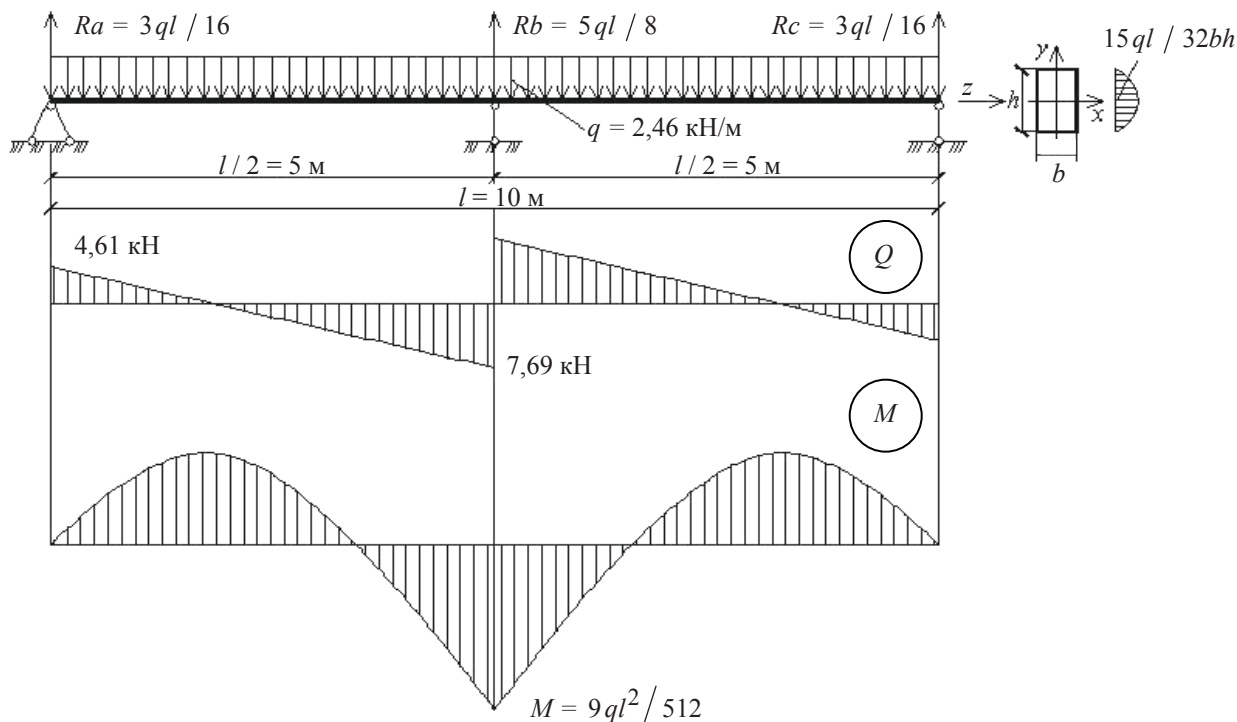


Рис. 6. Расчетная схема балки перекрытия между первым и вторым этажами

Раскрытие статической неопределимости данной балки, определение реакций опор и изгибающих моментов позволили составить следующие условия:

- прочности по нормальным напряжениям:

$$\sigma_{\max} = \frac{27}{256} \frac{ql^2}{bh^2} \leq [\sigma];$$

- прочности по касательным напряжениям:

$$\tau_{\max} = \frac{15}{32} \frac{ql}{bh} \leq [\tau];$$

- жесткости:

$$y_{\max} = 2,82 \cdot 10^{-5} \frac{ql^4}{Ebh^3} \leq [y].$$

Анализ условий показал, что подбор сечения необходимо выполнять из условия прочности по нормальным напряжениям. В соответствии с СНБ 5.05.01-2000 расчетное сопротивление изгибу  $[\sigma]$  для древесины сосны III сорта составляет 11 МПа. При стандартной ширине балки 200 мм требуемая высота для прямоугольного сечения составляет 110 мм.

На основании приведенных данных в соответствии с расчетной схемой можно принять конструкцию балки перекрытия на основе ресурсосберегающих конструкций брусев, представленную на рис. 5, б.

Запас по высоте сечения нивелирует наличие пустот в конструкции брусев.

При расчете нижнего пояса наружных стен дома на сжатие поперек волокон, суммарное значение результатов воздействий конструкции дома составляло  $F_{сж} = 741$  кН.

Максимальная расчетная несущая способность (реакция конструкции на воздействия) определяется отношением суммарного значения результатов воздействия на площадь стен по периметру дома:

$$\sigma_{сж} = 741 \cdot 10^3 / 8 = 0,09 \text{ МПа.}$$

Нормативное значение сопротивления древесины смятию и сжатию поперек волокон с учетом коэффициента надежности по материалу, коэффициента влияния временного фактора, коэффициента надежности по значению принимаем 1,18 МПа согласно СНиП 5.05.01-2000.

Таким образом, условие прочности древесины на смятие соблюдается. Максимальная расчетная величина внутренних реакций от всех внешних воздействий, равная 0,09 МПа, значительно меньше максимальной несущей способности древесины.

**Заключение.** На основе анализа существующих нормативных актов и стандартизованных методик выполнен теоретический расчет прочностных показателей элементов строительных конструкций из клееной древесины. При выполнении расчетов рассматривались условия, в которых конструкция выполняет свои функции в наиболее неблагоприятных ситуациях, для которых проверялись условия соответствия предельным состояниям.

При расчете учитывались условия прочности элементов конструкции по нормальным и касательным напряжениям, условие жесткости, а также сопротивление древесины смятию и сжатию поперек волокон.

Анализ полученных данных показывает, что в рассматриваемых расчетных схемах наиболее неблагоприятными являются величина прогиба под действием нагрузки (продольная балка) и величина нормальных напряжений изгиба (балка перекрытий меж-

ду первым и вторым этажами). В то же время величина касательных напряжений относительно небольшая и не оказывает решающего влияния на определение размеров элементов.

Приведенные расчеты позволяют определить требуемые размеры элементов конструкций домов с использованием различных моделей клееных брусев с учетом постоянных и временных нагрузок.

При расчетах использованы ресурсосберегающие конструкции клееных стеновых брусев, применение которых способствует снижению материалоемкости строительства и рациональному использованию древесных ресурсов.

### Литература

1. Калугин, А. В. Деревянные конструкции: учеб. пособие (конспект лекций) / А. В. Калугин. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 224 с.
2. Изделия деревянные клееные. Общие технические условия: СТБ 1722-2007. – Введ. 23.02.2007. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2007. – 12 с.
3. Строительные нормы Беларуси. Деревянные конструкции: СНБ 5.05.01-2000. – Введ. 01.07.2001. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2001. – 74 с.
4. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85. – Введ. 01.07.2004. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2004. – 44 с.
5. Рапинчук, Д. Л. Направления снижения себестоимости материалов для деревянного домостроения / Д. Л. Рапинчук // Архитектура и строительные науки. – 2007. – № 1. – С. 45–47.
6. Феодосьев, В. И. Сопротивление материалов: учеб. для вузов. – 10-е изд., перераб. и доп. / В. И. Феодосьев. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 592 с.